

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-90639

(43)公開日 平成10年(1998)4月10日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

G 0 2 F 1/09  
1/31

識別記号

5 0 5

F I

G 0 2 F 1/09  
1/31

5 0 5

審査請求 未請求 請求項の数11 O.L (全 11 頁)

(21)出願番号

特願平8-245952

(71)出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号

(22)出願日 平成8年(1996)9月18日

(72)発明者 福島暢洋

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内

(74)代理人 弁理士 松本昂

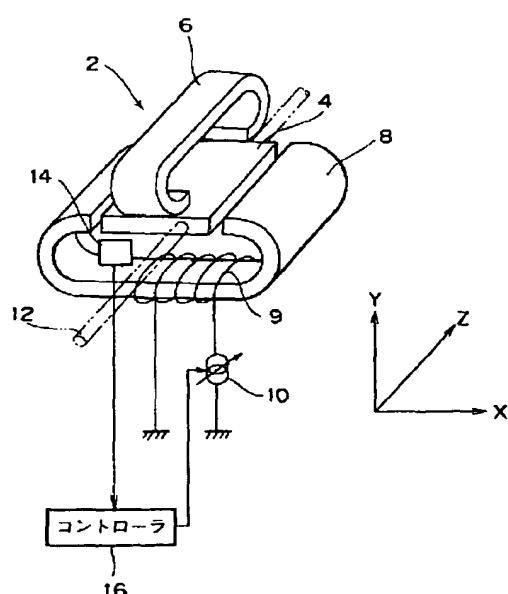
(54)【発明の名称】 ファラデー回転子及び該ファラデー回転子を用いた光デバイス

(57)【要約】

【課題】 本発明の課題は温度変動に係わらずファラデー回転角を常に一定に維持できるファラデー回転子を提供することである。

【解決手段】 ファラデー回転子は光の伝搬経路内に設けられた磁気光学結晶と、光の伝搬方向に平行な磁界を発生する永久磁石と、光の伝搬方向に直交する磁界を発生する電磁石とを含んでいる。永久磁石と電磁石との合成磁界の強さは磁気光学結晶を磁気飽和させるのに十分な大きさに設定されている。電磁石は駆動回路により駆動される。ファラデー回転子は更に、ファラデー回転子に隣接して設けられた温度センサと、磁気光学結晶のファラデー回転角の温度依存性のデータを内蔵し、温度センサの検出温度に応じてファラデー回転角が一定となるように駆動回路を制御するコントローラを含んでいる。

ファラデー回転子斜視図



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 ファラデー回転子であって、光の伝搬経路内に設けられた磁気光学結晶と；互いに異なる方向の第1及び第2磁界を、合成磁界の強さが所定値を超えるように前記磁気光学結晶に対して印加する、少なくとも前記第1及び第2磁界の一方を発生する電磁石を含んだ磁界印加手段と；前記電磁石を駆動する駆動手段と；前記ファラデー回転子に隣接して設けられた温度センサと；前記磁気光学結晶のファラデー回転角の温度依存性のデータを内蔵し、前記温度センサの検出温度に応じてファラデー回転角が一定となるように前記駆動手段を制御する制御手段と；を具備したことを特徴とするファラデー回転子。

【請求項2】 前記磁界印加手段は前記第1及び第2磁界の他方を発生する永久磁石を含んでいる請求項1記載のファラデー回転子。

【請求項3】 前記第1及び第2磁界は前記光の伝搬方向を含む平面内の互いに直交する方向に印加される請求項2記載のファラデー回転子。

【請求項4】 前記永久磁石による磁界は前記光の伝搬方向と平行に印加される請求項3記載のファラデー回転子。

【請求項5】 前記温度センサは温度変化を電流変化に変換可能なサーミスタから構成される請求項1記載のファラデー回転子。

【請求項6】 ファラデー回転子であって、光の伝搬経路内に設けられた磁気光学結晶と；光の伝搬経路に対して発生する磁界方向が第1の角度をなすように配置された、磁界強度の第1の温度係数を有する第1の永久磁石と；光の伝搬経路に対して発生する磁界方向が前記第1の角度より大きな第2の角度をなすように配置された、前記第1の温度係数より大きな磁界強度の第2の温度係数を有する第2の永久磁石とを具備し；前記第1及び第2の永久磁石により発生された磁界の合成磁界によって前記磁気光学結晶を通過する光に生じるファラデー回転角が、温度変化にかかわらずほぼ一定に保たれることを特徴とするファラデー回転子。

【請求項7】 前記第1の角度は0°であり、前記第1の永久磁石は光の伝搬方向と平行に配置されている請求項6記載のファラデー回転子。

【請求項8】 前記第1及び第2の永久磁石は実質上互いに直交するように配置されている請求項7記載のファラデー回転子。

【請求項9】 光デバイスであって、光の伝搬経路内に設けられた磁気光学結晶と；互いに異なる方向の第1及び第2磁界を、合成磁界の強さが所定値を超えるように前記磁気光学結晶に対して印加する、少なくとも前記第1及び第2磁界の一方を発生する電磁石を含んだ磁界印加手段と、前記電磁石を駆動する駆動手段とを含んだファラデー回転子と；前記ファラデー回

2 転子に隣接して設けられた、温度変化を電流変化に変換可能な温度センサと；前記磁気光学結晶のファラデー回転角の温度依存性のデータを内蔵し、前記温度センサの検出温度に応じてファラデー回転角が一定となるように前記駆動手段を制御する制御手段と；を具備したことを特徴とする光デバイス。

【請求項10】 前記光デバイスは、光アイソレータ、光アッテネータ、光スイッチ、光サークュレータ及び偏波コントローラのいずれかから構成される請求項9記載の光デバイス。

【請求項11】 前記磁界印加手段は前記第1及び第2磁界の他方を発生する永久磁石を更に含んでおり、前記永久磁石の磁界方向は前記光の伝搬方向と平行である請求項9記載の光デバイス。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、ファラデー回転子及びファラデー回転子を使用した光デバイスに関する。

【0002】 ファラデー回転子は、光がその進行方向に平行な磁界の中を通過する際、偏光面が回転するというファラデー効果を利用して光の偏光状態の制御を行うためのデバイスである。

## 【0003】

【従来の技術】 一般に、ファラデー回転子は、磁化を有する磁気光学結晶と、この磁気光学結晶に磁化を生じさせるための永久磁石又は電磁石等から構成される磁界印加手段とからなり、磁化の生じた磁気光学結晶内部に光を通過させることにより、光の偏光面が回転される。磁気光学結晶を通過したことにより偏光面が回転した角度をファラデー回転角という。

【0004】 ファラデー回転子は、磁界印加手段によって印加される磁界を制御することによって、磁気光学結晶内部に生じる光の進行方向と平行な磁化成分を変化させ、ファラデー回転角を制御できるため、偏光面の制御素子として多く利用されている。

【0005】 ファラデー回転子を、波長板等の偏光変換素子や偏光子、偏光ビームスプリッタ等と組み合わせることにより、光アイソレータ、光アッテネータ、光スイッチ、光サークュレータ等を含んだ様々な光デバイスを実現することができる。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】 ファラデー回転子には、ファラデー回転角に温度依存性があり、室温を中心に目標とする回転角を設定すると、高温又は低温では目標回転角から回転角がずれ、その性能が劣化するという問題がある。

【0007】 電磁石を用いてファラデー回転角を制御できるファラデー回転子も提案されているが、従来のファラデー回転子は温度変動に対してファラデー回転角を一定に制御することはできなかった。

【0008】また、従来提案されているファラデー回転子では、ファラデー回転角の制御は電流制御であった。通常の電子回路では、電圧で制御できることが望ましいが、電圧制御ファラデー回転子は提案されていない。

【0009】よって、本発明の目的は、温度変動に係わらずファラデー回転角を一定に制御できるファラデー回転子を提供することである。本発明の他の目的は、温度変化に対してファラデー回転角を一定に制御することにより、広い温度範囲に渡りファラデー回転角の変動に起因した性能劣化のない光デバイスを提供することである。

#### 【0010】

【課題を解決するための手段】本発明によると、ファラデー回転子であって、光の伝搬経路内に設けられた磁気光学結晶と、互いに異なる方向の第1及び第2磁界を、合成磁界の強さが所定値を超えるように前記磁気光学結晶に対して印加する、少なくとも前記第1及び第2磁界の一方を発生する電磁石を含んだ磁界印加手段と、前記電磁石を駆動する駆動手段と、前記ファラデー回転子に隣接して設けられた温度センサと、前記磁気光学結晶のファラデー回転角の温度依存性のデータを内蔵し、前記温度センサの検出温度に応じてファラデー回転角が一定となるように前記駆動手段を制御する制御手段とを具備したことを特徴とするファラデー回転子が提供される。

【0011】好ましくは、磁界印加手段は第1及び第2磁界の他方を印加する永久磁石を含んでおり、第1及び第2磁界は光の伝搬方向を含む平面内の互いに直交する方向に印加される。好ましくは、温度センサは温度変化を電流変化に変換可能なサーミスタである。

【0012】本発明の他の側面によると、ファラデー回転子であって、光の伝搬経路内に設けられた磁気光学結晶と、光の伝搬経路に対して発生する磁界方向が第1の角度をなすように配置された、磁界強度の第1の温度係数を有する第1の永久磁石と、光の伝搬経路に対して発生する磁界方向が前記第1の角度より大きな第2の角度をなすように配置された、前記第1の温度係数より大きな磁界強度の第2の温度係数を有する第2の永久磁石とを具備し、前記第1及び第2の永久磁石により発生された磁界の合成磁界によって前記磁気光学結晶を通過する光に生じるファラデー回転角が、温度変化にかかわらずほぼ一定に保たれることを特徴とするファラデー回転子が提供される。

【0013】好ましくは、第1の永久磁石はその磁界方向が光の伝搬方向と平行となるように配置されており、第2の永久磁石はその磁界方向が第1の永久磁石の磁界方向と直交するように配置されている。

【0014】本発明の更に他の側面によると、光デバイスであって、光の伝搬経路内に設けられた磁気光学結晶と、互いに異なる方向の第1及び第2磁界を、合成磁界の強さが所定値を超えるように前記磁気光学結晶に対し

て印加する、少なくとも前記第1及び第2磁界の一方を発生する電磁石を含んだ磁界印加手段と、前記電磁石を駆動する駆動手段とを含んだファラデー回転子と、前記ファラデー回転子に隣接して設けられた、温度変化を電流変化に変換可能な温度センサと、前記磁気光学結晶のファラデー回転角の温度依存性のデータを内蔵し、前記温度センサの検出温度に応じてファラデー回転角が一定となるように前記駆動手段を制御する制御手段とを具備したことを特徴とする光デバイスが提供される。

#### 10 【0015】

【発明の実施の形態】図1を参照すると、本発明第1実施形態のファラデー回転子の斜視図が示されている。

【0016】ファラデー回転子2は、磁気光学結晶4と、磁気光学結晶4に対して互いに直交する方向に磁界を印加する永久磁石6と電磁石8とを含んでいる。電磁石8にはコイル9が巻回されており、可変電流源10によりコイル9に駆動電流が供給される。

【0017】光ビームが透過するのに十分な程度の厚さの比較的薄い磁気光学結晶4を用いることによって、飽和磁界（磁気光学結晶の磁化を飽和させる磁界の強さあるいはファラデー回転角を飽和させるのに必要とされる磁界の強さ）を小さくすることができる。

【0018】磁気光学結晶4としては、薄く切り出されたYIG（イットリウム・鉄・ガーネット）やエピタキシャル結晶成長させた $(\text{GdBi})_3(\text{FeAlGa})_5\text{O}_{12}$ 等を用いることができる。

【0019】永久磁石6により磁気光学結晶4に印加される磁界の方向は磁気光学結晶4における光ビーム12の透過方向と平行であり、電磁石8により磁気光学結晶4に印加される磁界の方向は磁気光学結晶4における永久磁石6による磁界印加方向及び光ビーム12の透過方向に垂直である。

【0020】磁気光学結晶4に入射する光ビーム12は直線偏光であり、その偏光方向はファラデー回転子2によりファラデー回転させられる。ファラデー回転角はファラデー回転子2を用いる目的によって異なり、光アイソレータの場合にはファラデー回転角は $45^\circ$ に設定される。

【0021】永久磁石6及び電磁石8による合成磁界の強さは、磁気光学結晶4における飽和磁界よりも大きくなるように設定される。その理由は磁気光学結晶4の飽和磁界よりも小さな磁界が印加された場合には、磁気光学結晶4内に多数の磁区が生じ、各磁区間の界面における光の散乱等の不都合が生じるからである。

【0022】以下の説明で用いるXYZ直交三次元座標系において、Z軸は磁気光学結晶4の透過光の伝搬方向と平行であり、Y軸は磁気光学結晶4の厚み方向と平行である。即ち、この実施形態では、永久磁石6による印加磁界の方向はZ軸に平行であり、電磁石8による印加磁界の方向はX軸に平行である。

【0023】図2は、図1に示されたファラデー回転子2において、磁気光学結晶4に与えられる磁界及び磁気光学結晶4の磁化の方向及び強さ(大きさ)を説明するための図である。

【0024】今、永久磁石6のみによって磁気光学結晶4に符号101で示されるように磁界が印加されている場合、磁気光学結晶4の磁化は符号102で示すようにZ軸と平行になる。このときの印加磁界の強さ(磁界ベクトル101の長さ)は、磁気光学結晶4の磁化の強さ(磁化ベクトル102の長さ)が飽和するように設定される。

【0025】電磁石8による磁界が符号103で示されるようにX軸に平行に印加されると、合成磁界は符号104で示されるように磁界ベクトル101及び103の合成ベクトルとなる。

【0026】この合成磁界104により磁気光学結晶4には符号105で示されるような磁化が生じる。磁化ベクトル105と磁界ベクトル104は平行であり、磁化ベクトル105の長さは磁化ベクトル102の長さに一致する。

【0027】磁気光学結晶4の磁化の強さが一定であるからといって、磁気光学結晶4におけるファラデー回転への寄与度が同じであるとは限らない。ファラデー回転角が当該磁化の方向と光の伝搬方向の関係にも依存するからである。

【0028】即ち、磁化102が生じている状態と磁化105が生じている状態を比較すると、磁化102のZ成分(磁化102そのもの)に対して磁化105のZ成分106が減少している分だけ、後者のファラデー回転角は小さくなる。

【0029】上述したように、ファラデー回転角には温度依存性があり、室温でファラデー回転角を所定角度に設定すると、高温又は低温ではこの所定角度からのずれが生じ、ファラデー回転子の性能が劣化する。

【0030】例えば、磁気光学結晶4としてYIGを採用した場合には、高温になるほどファラデー回転角は小さくなる。本実施形態のファラデー回転子2は、温度変動に応じて電磁石8のコイル9に流す電流を制御して、常に一定のファラデー回転角が得られるようにしたものである。

【0031】再び図1を参照すると、符号14はサーミスタ等の温度センサを示しており、特に図示しないが温度センサ12は熱伝導性のよい材料を介してファラデー回転子2に取り付けられている。

【0032】温度センサ14で検出した検出温度はコントローラ16に入力される。コントローラ16は、例えばマイクロ・プロセッサ・ユニット(MPU)から構成される。

【0033】コントローラ16では温度変動による補正值を算出して、この補正值に基づいて可変電流源10を

制御する。コントローラ16の機能を図3のフローチャートを参照して説明する。

【0034】まず、ステップ110においてファラデー回転角指示信号をコントローラ16に入力する。例えば、ファラデー回転子2を光アイソレータとして使用する場合には、45°のファラデー回転角となるような指示信号を入力する。

【0035】次に、ステップ111で温度センサ14の電流値を取り込み、ステップ112でこの電流値を温度データに変換する。ステップ113で温度センサ14で検出した検出温度から標準温度(室温)を引き、温度差 $\Delta T$ を求める。ステップ114で $\Delta T$ にファラデー回転子の温度係数を掛けて、補正值を算出する(ステップ115)。

【0036】このファラデー回転子の温度係数は磁気光学結晶を構成する物質により定まるものであり、例えばYIGは-0.06°/°Cの温度係数を有している。この温度係数はプログラムに組み込まれている。

【0037】ステップ115で補正值を算出した後、ステップ116に進み駆動電流値を算出する。ファラデー回転角と駆動電流の関係はプログラム中にテーブルとして予め記憶されている。

【0038】この駆動電流値をステップ117で駆動回路(可変電流源10)に入力し、電磁石8のコイル9に可変電流源10からこの駆動電流を供給する。このように、温度センサ14で検出した温度変化に応じて、電磁石8のコイル9に流す電流を変化させるようにしたので、本実施形態のファラデー回転子2は温度変動に係わらず常に一定の所望とするファラデー回転角を得ることができる。

【0039】例えば、90°回転子の場合、ファラデー回転子2の温度係数は約0.1°/°Cとなる。故に温度が20°C変化すれば、ファラデー回転角は約2°変化する。45°ファラデー回転子の場合には、温度が20°C変化すればファラデー回転角は約1°変化する。

【0040】図4のグラフから、ファラデー回転角を60°変化させるには約36mAの駆動電流が必要だから、ファラデー回転角を約1°変化させるためには0.6mAの駆動電流の補正を必要とする。

【0041】この補正是プログラム中に組み込むことができる。ステップ116で駆動電流を算出する前に、ファラデー回転角を補正しておけば、補正動作を一回に減らすことができる。

【0042】図5を参照すると、上述したファラデー回転子2を光アッテネータに使用した場合の実施形態が示されている。光アッテネータ17は光ファイバ18と、レンズ20と、テーパー状の複屈折結晶22と、図1に示したファラデー回転子2とテーパー状の複屈折結晶24と、レンズ26と、光ファイバ28とが図示しない光源の側からこの順序で配列して構成されている。

【0043】複屈折結晶22及び24の材質は例えバルチルであり、これらの形状は同じである。複屈折結晶22の頂部及び底部はそれぞれ複屈折結晶24の底部及び頂部に対向し、且つ対応する面は互いに平行である。

【0044】また、複屈折結晶22及び24の光学軸は紙面に垂直な平面内にあり、各光学軸の位置関係はアッテネータの零入力時の損失の設定による。以下の説明では零入力時に損失が最小になるように定めることとし、複屈折結晶22の光学軸と複屈折結晶24の光学軸が互いに平行であるとする。

【0045】符号30はサーミスタ等の温度センサであり、温度センサ30の検出温度はコントローラ32に入力され、コントローラ32で温度変動による駆動電流の変化を演算し、駆動回路34を制御する。この制御方法は、上述したファラデー回転子2の制御方法と概略同様である。

【0046】光ファイバ18の出射光はレンズ20によりコリメートビームに変換され、このコリメートビームはビーム太さを無視して符号36で示されている。ビーム36は複屈折結晶22において、その常光線に相当するビーム38と異常光線に相当するビーム40に分離される。ビーム38の偏光方向とビーム40の偏光方向は互いに直交している。

【0047】ビーム38及び40はファラデー回転子2で偏光方向をそれぞれ同じ角度だけ回転され、それぞれビーム39及び41になる。ビーム39は複屈折結晶24においてその常光線成分であるビーム42と異常光線成分であるビーム43に分離される。また、ビーム41は複屈折結晶24において、その異常光線成分であるビーム44と常光成分であるビーム45に分離される。

【0048】ビーム42乃至45がそれぞれ受けた屈折の履歴と複屈折結晶22及び24の形状及び配置形態を考えると、ビーム42とビーム44は互いに平行であり、ビーム43とビーム45は互いに平行ではない。従って、ビーム42乃至45のうちビーム42及び44のみをレンズ26により絞り込んで光ファイバ28に入射させることができる。

【0049】さて、ビーム42及び44のトータルパワーとビーム43及び45のトータルパワーの比はファラデー回転子におけるファラデー回転角に依存する。よって、目標とするアッテネーション値に応じてファラデー回転子2のファラデー回転角を制御することにより、光ファイバ18から出射された光ビームを所望の減衰率で減衰させて光ファイバ28に入力することができる。減衰率の制御は、ファラデー回転子2の電磁石のコイルに流す電流を駆動回路34により調整することにより行う。

【0050】ところで、所望の減衰率を得たい場合にも温度変動が生じると、ファラデー回転子2のファラデー回転角は変化し、所望の減衰率を得ることができない。

よって、本実施形態の光アッテネータでは温度センサ30によりファラデー回転子2の周囲温度を検出し、この検出温度に応じて予めプログラムされたソフトウェアにより電磁石のコイルに流す駆動電流を制御する。

【0051】図6を参照して、温度変動に応じたファラデー回転角の制御方法について説明する。まず、ステップ210でアッテネーション値をコントローラ32に入力すると、ステップ211でコントローラ32はファラデー回転角指示信号を算出する。

【0052】次いでステップ212に進み、サーミスター等の温度センサ30で検出した電流値をコントローラ32に取り込む。本フローチャートのステップ212からステップ218は図3に示したフローチャートのステップ111からステップ117に対応しているので、その説明を省略する。このように、ファラデー回転子2の電磁石の駆動電流を温度変動に応じて調整することにより、温度変動に係わらず所望とする減衰率を常に得ることができる。

【0053】次に図7(A)及び図7(B)を参照して、ファラデー回転子2を光アイソレータに採用した場合について説明する。本実施形態の構成は、図5に示した光アッテネータの構成と実質上同一である。しかし、ファラデー回転子2のファラデー回転角は45°に設定されており、このため駆動回路64による駆動電流の調整幅は小さいものでよい。

【0054】光アイソレータ46は、図7(A)に示されるように、順方向の光の伝搬方向上流側にある光ファイバ48と、光ファイバ48から出射した光をコリメートビームにするレンズ50と、ウェッジ状の複屈折結晶からなる偏光子52と、回転角が45°に設定されたファラデー回転子2と、ウェッジ状の複屈折結晶からなる偏光子54と、レンズ56と、光ファイバ58とを備えており、これらの構成要素は光の進行方向にこの順序で配置されている。

【0055】偏光子52及び54は、偏光子52の頂部及び底部がそれぞれ偏光子54の底部及び頂部に対向し、且つ対応する面が互いに平行となるように設けられている。偏光子52及び54の配置関係は図5に示した光アッテネータの複屈折結晶22及び24の配置関係と逆であるが、どちらの配置関係も採用可能である。

【0056】偏光子54の光学軸は偏光子52の光学軸に対してファラデー回転子2における旋光の方向と同じ方向に45°回転されている。そして、光ファイバ48からの順方向の光がレンズ50、偏光子52、ファラデー回転子2及び偏光子54をこの順序で通過してレンズ56により焦点を結んだとき、この焦点が光ファイバ58のコア端面内に位置するように設定されている。

【0057】更に、光ファイバ58からの逆方向の光がレンズ56、偏光子54、ファラデー回転子2及び偏光子52をこの順序で通過してレンズ50により焦点を結

んだとき、この焦点が光ファイバ48のコア端面外に位置するようにされている。

【0058】しかし、光ファイバ48から出射してレンズ50でコリメートされたビームが偏光子52に順方向で入射すると、偏光成分によって偏光子52における屈折率が異なるので、入射光は常光線及び異常光線に分かれて別方向に屈折してファラデー回転子2に入射する。

【0059】偏光子54の光学軸は偏光子52の光学軸に対してファラデー回転子2における旋光の方向と同じ方向に45°回転されているので、偏光子52における常光線及び異常光線は、ファラデー回転子2でそれぞれ45°旋光されて、偏光子54においてもそれぞれ常光線及び異常光線となる。

【0060】従って、偏光子54を透過した常光線及び異常光線は互いに平行となって出射される。この常光線及び異常光線のコリメートビームは、レンズ56により収束されて光ファイバ58に入射する。

【0061】一方、図示しない光コネクタ端面等で反射してきた反射帰還光は、図7(B)に示すように、偏光子54に入射したあと、常光線及び異常光線に分かれて別方向に屈折され、ファラデー回転子2に入射して偏光面を45°回転させられて出射する。

【0062】偏光面が45°回転した偏光子54における常光線は、偏光子52において異常光線としての屈折をうける。また、偏光面が45°回転した偏光子54における異常光線は、偏光子52において異常光線としての屈折を受ける。

【0063】従って、偏光子52から逆方向に出射する光の進行方向は、順方向の光の進行方向とは異なる。そのため、逆方向の光をレンズ50を通過させても、この光は光ファイバ48には結合されない。

【0064】ところで、上述したようにファラデー回転子2のファラデー回転角は温度により変動し、室温においてファラデー回転子2の回転角を45°に設定した場合にも、温度が変動するとこの回転角が変化し、十分な消光比の光アイソレータを実現することができない。

【0065】よって、本実施形態の光アイソレータ46では、温度センサ60によりファラデー回転子2の周囲温度を検出し、この検出温度をコントローラ62に入力する。

【0066】コントローラ62では上述したように検出温度に応じて駆動電流の補正值を算出し、この補正值に基づいて駆動回路64を制御し、温度が変化してもファラデー回転角が常に45°となるように電磁石のコイルに流す駆動電流を調整する。

【0067】次に、図8及び図9を参照してファラデー回転子2を光スイッチ75に使用した場合の実施形態について説明する。図8において、符号76、78は水晶から形成された1/2波長板、80、82は方解石又は

ルチル等の平板状複屈折板である。

【0068】複屈折板80は偏光分離膜84を有する偏光プリズム86とファラデー回転子2との間に挿入されている。1/2波長板76は、偏光プリズム86と複屈折板80の間に複屈折板80の下方部分に対向するように挿入されている。

【0069】複屈折板82は、ファラデー回転子2と偏光分離膜88を有する偏光プリズム90の間に挿入されている。1/2波長板78は、偏光プリズム90と複屈折板82の間に複屈折板82の上方部分に対向するように挿入されている。

【0070】ファラデー回転子2は印加される磁界が光の進行方向と同一の場合には、偏光面を時計廻り方向に45°回転し、逆方向の場合は偏光面を反時計廻りに45°回転する。また、1/2波長板92は偏光面を常に反時計廻り方向に45°回転する。

【0071】今、ファラデー回転子2に印加される磁界を矢印方向にして、光ファイバ94から偏光プリズム86に光ビーム126を入射させると、光ビーム126は偏光プリズム86によりP偏光128とS偏光132に分離される。

【0072】P偏光128は、1/2波長板76を通過する際に偏光面が90°回転されてS偏光となり、更に複屈折板80、82を通過する際に偏光分離膜84に起因する漏話成分が点線で示すように屈折され並進ずれを生じる。

【0073】一方、S偏光130は、複屈折板80、82を通過する際に偏光分離膜84に起因する漏話成分が点線で示すように屈折され並進ずれを起こす。更に、1/2波長板78を通過する際に偏光面が90°回転されてP偏光となる。

【0074】よって、P偏光は偏光分離膜88を通過し、S偏光は偏光分離膜88で反射されるので、ほとんどの光は光ビーム132として合成され、光ファイバ96に結合される。

【0075】一方、偏光プリズム90から上方に出射される点線で示した漏話成分は上述したように並進ずれを起こしているため、光ファイバ98に結合されることはない。

【0076】ファラデー回転子2の印加磁界方向が図示矢印方向の場合には、ファラデー回転子2の旋光方向と1/2波長板92の旋光方向は互いに逆方向となり旋光が相殺されるため、図8の場合には光ビームがファラデー回転子2及び1/2波長板92を通過することによりその偏光面は何ら影響を受けることはない。

【0077】次に、図9に示すようにファラデー回転子2に印加する磁界方向を図8の印加方向と逆方向にして、光ファイバ94から偏光プリズム86に光ビーム126を入射させると、偏光プリズム86により分離されたP偏光128及びS偏光130は、複屈折板80を通

過するまでは図8の状態と同様であるが、ファラデー回転子2及び1/2波長板92を通過する際にその偏光面が90°回転される。

【0078】よって、1/2波長板92から出射するとP偏光128はP偏光のままであるが、S偏光130はP偏光となる。1/2波長板92から出射した光は複屈折板82を通過する際に屈折して点線で示す漏話成分と光路が一致する。

【0079】その後、1/2波長板78を通過するP偏光は偏光面が90°回転されてS偏光となり、偏光プリズム90の偏光分離膜88で反射される。一方、P偏光は偏光分離膜88を通過し、合成ビーム134が光ファイバ98に結合される。一方、偏光プリズム90から右方向に出射する点線で示す漏話成分は並進ずれを起こしているため、光ファイバ96に結合されることはない。

【0080】以上説明したように、偏光分離膜84、88の漏話が大きくても、漏話成分が光ファイバ96、98に結合されることではなく、光スイッチの漏話を低減することができる。

【0081】しかし、上述したようにファラデー回転子2の回転角は温度変動により変化する。よって、温度が変化したときにはファラデー回転角の変動に起因する漏話成分が発生することになる。

【0082】よって、本実施形態の光スイッチ75では、温度センサ120でファラデー回転子2の温度を検出し、この検出温度をコントローラ122に入力する。コントローラ122では上述したように温度変動に起因する補正值を求め、この補正值に基づいた駆動電流を算出する。

【0083】駆動回路124がファラデー回転子2のコイルにこのようにして算出した駆動電流を供給することにより、温度変動に係わらず常に一定のファラデー回転角を得ることができる。これにより、ファラデー回転角の変動に起因する漏話を低減することができる。

【0084】次に図10を参照して、本発明第2実施形態のファラデー回転子66について説明する。ファラデー回転子66は、例えばYIG等の磁気光学結晶68と、光ビーム74の伝搬経路に対して発生する磁界方向が第1の角度をなすように配置された第1の永久磁石70と、光ビーム74の伝搬経路に対して発生する磁界方向が第1の角度より大きな第2の角度をなすように配置された第2の永久磁石72とから構成される。

【0085】本実施形態では、第1の永久磁石70はその磁界方向が光ビーム74の伝搬方向と平行となるように配置されており、第2の永久磁石72はその磁界方向が第1の永久磁石70の磁界方向と直交するように配置されている。

【0086】本実施形態のファラデー回転子66では、2個の永久磁石70、72によって磁気光学結晶68に磁界が印加され、合成磁界の方向が光ビーム74の伝搬

方向となす角度に応じてファラデー回転角が異なる。一般的に永久磁石の磁力は温度によって変動する。

【0087】本実施形態のファラデー回転子66では、2個の永久磁石70、72を使用しているため、ファラデー回転角が変わる要因は、永久磁石70、72による合成磁界方向の変化と、温度変動に応じて変化する磁気光学結晶の物性である。この2つの要因のうち、物性によって定まるほうは通常は調整できない。

【0088】しかし、合成磁界方向の変化は2つの永久磁石70、72の組み合わせ方、永久磁石70、72で発生される磁界を磁気光学結晶68に導くヨークの材質及び構造によって調整することが可能である。例えば、一般的に永久磁石は高温になると磁力が弱くなるものが多く、磁界強度の温度係数は磁石の組成により決定される。

【0089】また、磁気光学結晶は高温になるとファラデー回転角が小さくなるものが多く、ファラデー回転角の温度係数は磁気光学結晶の物性によって異なる。実用的な磁気光学結晶は選択の幅が狭いため、磁気光学結晶単体で所望のファラデー回転角の温度係数を達成することはほとんど不可能である。しかし、異なる特性を有する永久磁石70、72を用いることにより、所望のファラデー回転角の温度係数を達成することができる。

【0090】図10に示したファラデー回転子66において、第1の永久磁石70は磁界強度の温度係数が小さく無視できる材料で作られているものとする。例えば、第1の永久磁石70は、Sm-Co系材料から形成されている。

【0091】第2の永久磁石72は磁界強度の温度係数が大きく、高温になると磁界強度が落ちる材料から作られているものとする。例えば、第2の永久磁石72は、NdFeB系材料から形成されている。

【0092】一方、磁気光学結晶68は一般的に高温になるとファラデー回転角は小さくなる。例えばYIGでは、温度が1°C上昇する毎にファラデー回転角は約0.06°減少する。本実施形態のファラデー回転子66は温度変動があってもファラデー回転角をほぼ一定に維持できるものである。

【0093】図11を参照して、本実施形態のファラデー回転子66の作用を説明する。第1の永久磁石70の磁界強度はAであり、温度変動があってもその磁界強度はほぼ一定である。また、第1の永久磁石70の磁界方向は光ビーム74の伝搬方向に平行である。

【0094】一方、常温の状態では第2の永久磁石72の磁界強度はB2であり、合成磁界の方向と第1の永久磁石70の磁界方向とのなす角はθ2である。この場合のファラデー回転角は、もし磁界方向が光の進行方向に一致した場合のファラデー回転角をθFとしたときに、θF cos θ2となる。

【0095】高温になると、第2の永久磁石72の磁界

13

強度は  $B_1$  に減少する。よって、合成磁界の方向と第1の永久磁石70の磁界方向とがなす角は  $\theta_2$  より小さい  $\theta_1$  となる。よって、このときのファラデー回転角は  $\theta_F \cos \theta_1$  となり、  $\theta_F$  が一定とすれば  $\theta_F \cos \theta_2$  より大きくなる。

【0096】しかし、高温になるとファラデー回転角が小さくなる磁気光学結晶68を使用しているため、  $\theta_F$  は高温になると小さくなる。よって、2つの永久磁石70, 72の合成磁界の方向がファラデー回転に与える効果と、磁気光学結晶68の温度係数の効果は反対方向に働く。

【0097】従って、適切な  $\theta_1$  と  $\theta_2$  を与える永久磁石を採用することにより、温度変動が磁気光学結晶68のファラデー回転に与える影響を、2つの永久磁石70, 72の合成磁界の方向の変化がファラデー回転に与える影響で相殺することができる。

【0098】永久磁石70, 72と磁気光学結晶68の間に軟磁性体のヨークを配置すると、軟磁性体の材質を適当に選択することにより、ファラデー回転の温度係数の調整が可能である。

【0099】磁気光学結晶68及び永久磁石70, 72の材質を適当に選択することにより、所望の大きさにファラデー回転角の温度係数を設定することが可能であり、温度に応じてファラデー回転角を変える必要がある光デバイスに適用できる。

【0100】図12を参照すると、光アッテネータの第2実施形態のブロック図が示されている。電流駆動光アッテネータ140のハウジング142内には電圧-電流変換回路144が設けられている。この電圧-電流変換回路144で光アッテネータ140を駆動する。

【0101】光アッテネータは光増幅器の内部などで光量の調整に用いられるが、調整のための制御信号は多くは電圧信号である。そこで、光アッテネータの制御は電圧信号で制御できることが望ましい。ハウジング142には制御信号端子146、電源端子148及びアース端子150が設けられている。符号152は光ビームを示している。

【0102】図13を参照して、電圧-電流変換回路144の実施形態について説明する。オペアンプ160の正相入力端164には制御信号入力端子146が接続されている。

【0103】オペアンプ160の逆相入力端166とオペアンプ160の出力端との間には抵抗168が挿入されており、更にオペアンプ160の逆相入力端166は抵抗170を介して接地電位にプルダウンされている。

14

【0104】オペアンプ160の出力はトランジスタ172のベースに供給され、ベース電圧の大きさに応じてファラデー回転子の電磁石174のコイル176に供給する駆動電流を制御する。

【0105】以上の説明では、図1に示したファラデー回転子2を光アッテネータ、光アイソレータ及び光スイッチに適用した例について説明したが、本発明の応用例はこれに限定されるものではなく、ファラデー回転子を使用する光サーチューレータ、偏波コントローラ等の他の光デバイスにも同様に適用可能である。

【0106】

【発明の効果】本発明によれば、温度変動に係わらずファラデー回転角を常に一定に制御できるファラデー回転子を提供することができる。これにより、ファラデー回転子を用いた光デバイスの性能向上を図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明第1実施形態に係るファラデー回転子の斜視図である。

【図2】図1における磁界及び磁化の説明図である。

【図3】ファラデー回転子の制御フローチャートである。

【図4】駆動電流とファラデー回転角との関係を示すグラフである。

【図5】光アッテネータの実施形態を示す図である。

【図6】光アッテネータの制御フローチャートを示す図である。

【図7】光アイソレータの実施形態を示す図である。

【図8】光スイッチの実施形態を示す図である。

【図9】光スイッチの実施形態を示す図である。

【図10】本発明の第2実施形態に係るファラデー回転子の斜視図である。

【図11】温度変化と合成磁界の関係を示す図である。

【図12】光アッテネータの第2実施形態を示すブロック図である。

【図13】電圧-電流変換回路を示す図である。

【符号の説明】

2, 66 ファラデー回転子

4, 68 磁気光学結晶

6, 70, 72 永久磁石

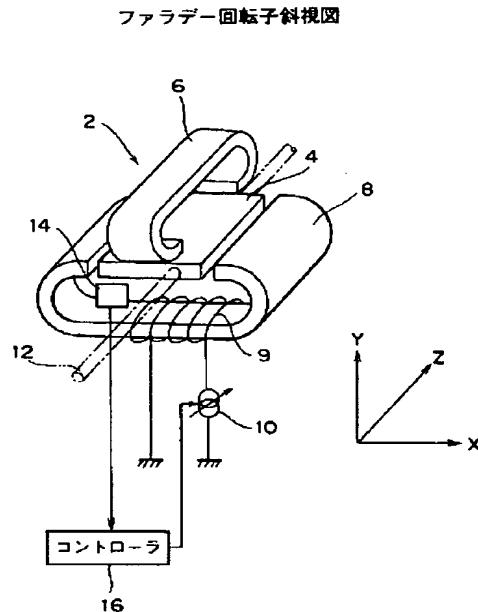
8 電磁石

10 可変電流源

14, 30, 60, 120 温度センサ

16, 32, 62, 122 コントローラ

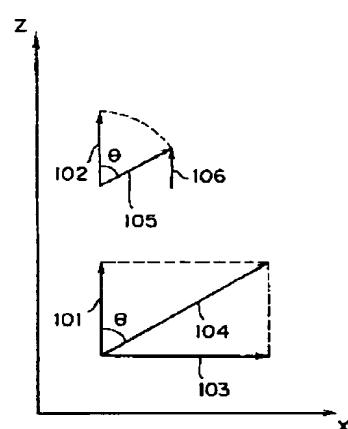
【図1】



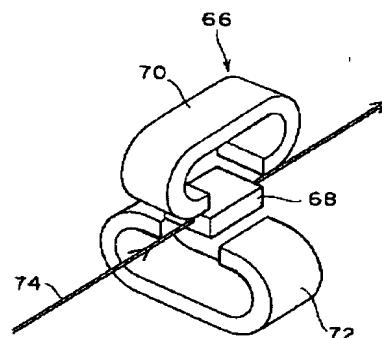
ファラデー回転子斜視図

【図2】

図1における磁界及び磁化の説明図



【図10】



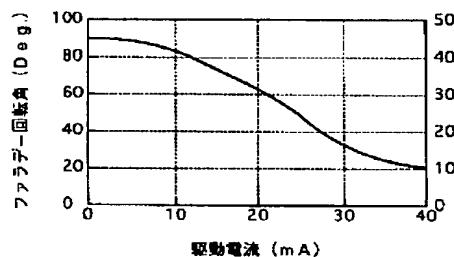
ファラデー回転子

【図4】

【図5】

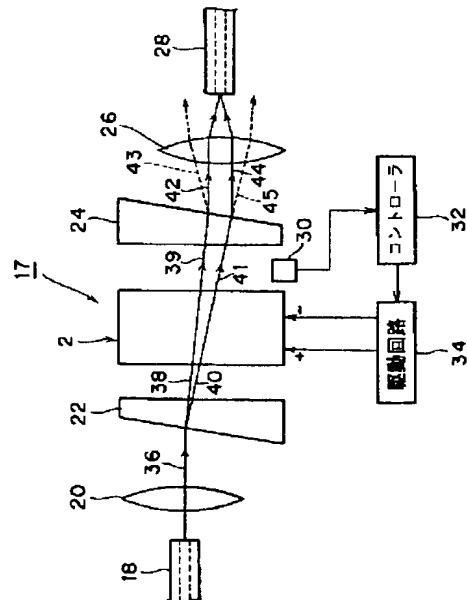
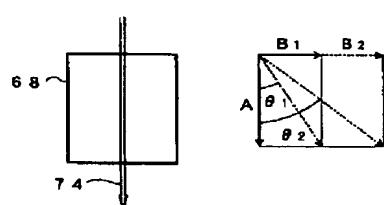
光アンテナ

駆動電流とファラデー回転角との関係を示すグラフ



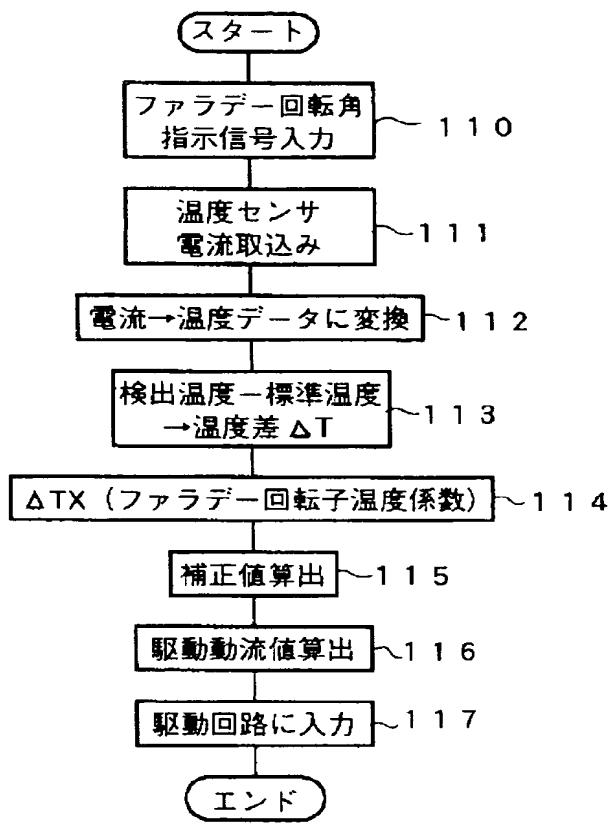
【図11】

温度変化と合成磁界の関係を示す図



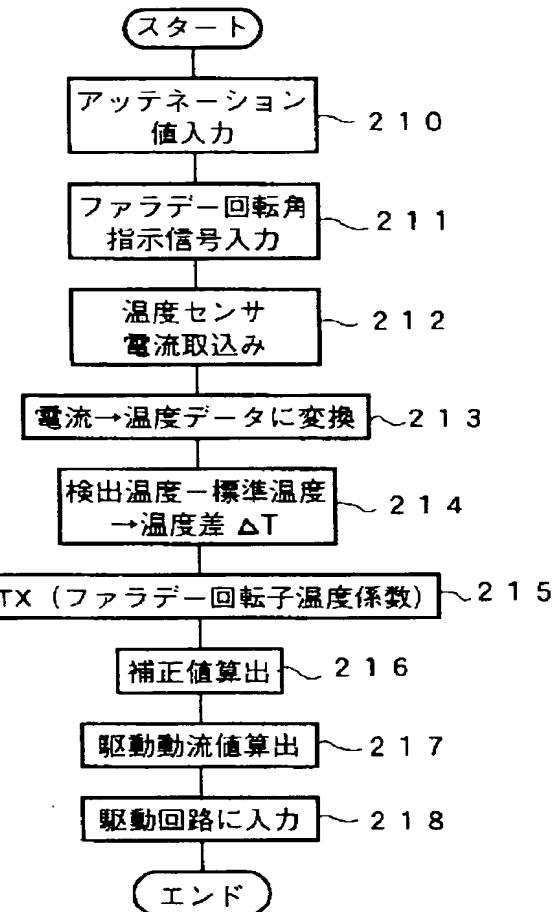
【図3】

## 制御フローチャート



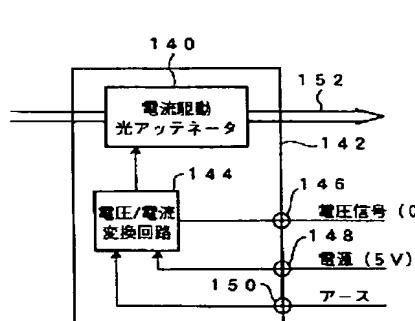
【図6】

## 制御フローチャート

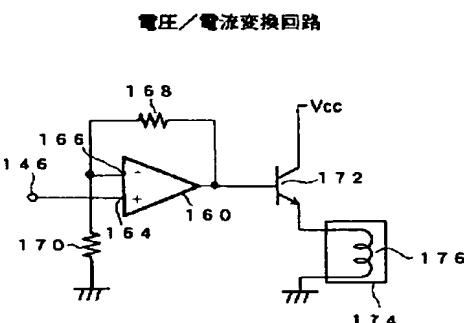


【図12】

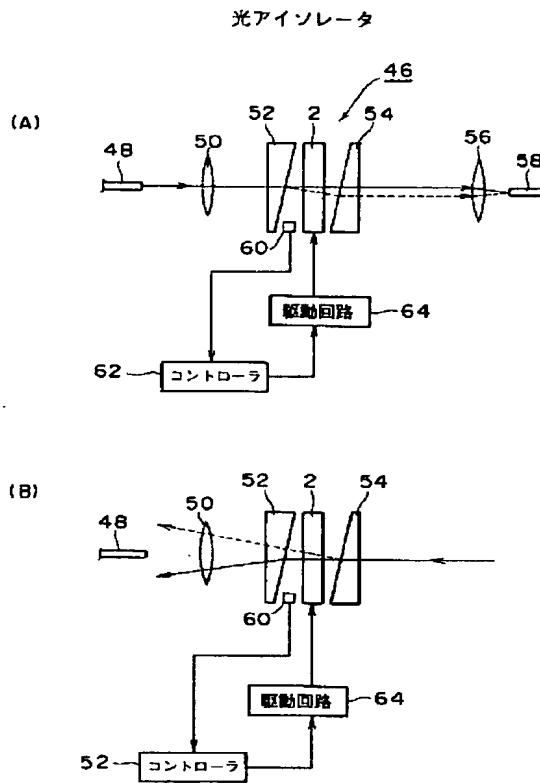
## 光アッテネータの第2実施形態



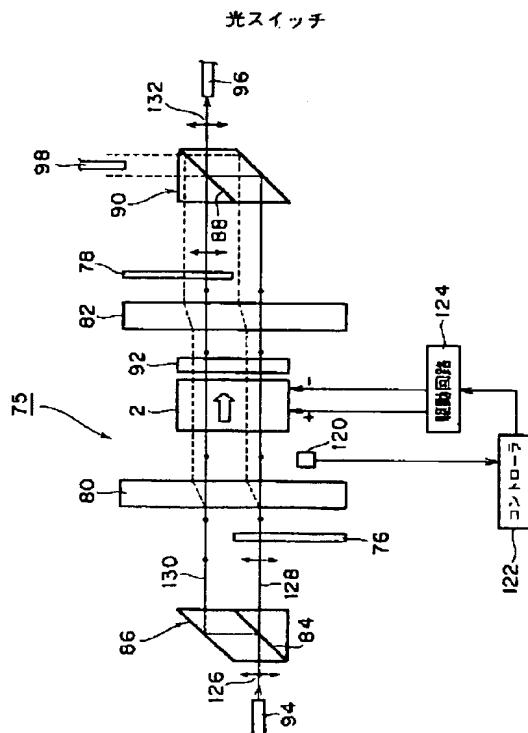
【図13】



【図7】



【図8】



【図9】

